(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) EP 0 388 594 B1

(12) **EUROPEAN PATENT SPECIFICATION**

(45) Date of publication and mention of the grant of the patent:
17.01.1996 Bulletin 1996/03

(51) Int Cl.[6]: **G01B 9/02**

(21) Application number: **90101409.2**

(22) Date of filing: **24.01.1990**

(54) Linear-and-angular measuring plane mirror interferometer

Spiegelinterferometer für Linear- und Winkelmessungen

Interféromètre à miroirs pour mesures angulaires et linéaires

(84) Designated Contracting States:
DE FR GB

(30) Priority: **23.02.1989 US 314348**

(43) Date of publication of application:
26.09.1990 Bulletin 1990/39

(73) Proprietor: **Hewlett-Packard Company**
Palo Alto, California 94304 (US)

(72) Inventor: **Bockman, John J.**
Santa Clara, Ca. 95051 (US)

(74) Representative:
Liesegang, Roland, Dr.-Ing. et al
D-80801 München (DE)

(56) References cited:
EP-A- 0 227 554
EP-A- 0 250 306
DE-A- 3 421 213
US-A- 4 881 815

Note: Within nine months from the publication of the mention of the grant of the European patent, any person may give notice to the European Patent Office of opposition to the European patent granted. Notice of opposition shall be filed in a written reasoned statement. It shall not be deemed to have been filed until the opposition fee has been paid. (Art. 99(1) European Patent Convention).

EP 0 388 594 B1

Printed by Jouve, 75001 PARIS (FR)

Description

The invention relates to an interferometer for measuring the linear displacement of an object along a first axis and the angular displacement of the object around a second axis orthogonal to the first axis.

The EP-A-0 250 306 discloses an angle measuring interferometer system for measuring changes in the angular orientation between two plane mirrors, and the EP-A-0 227 554 describes a differential plane mirror interferometer for measuring optical path length changes between two plane mirror surfaces. The former uses a light source, a beam splitter and converting means for producing an electric measurement signal based on a single output beam in which the variation in phase difference is proportional to the variation in angle between the two plane mirrors. The latter uses a light source, a beam splitter and converting means for producing a single output beam in which the phase difference between two frequency components is directly proportional to the changes in the optical path length between the two plane mirrors.

Precision translation stages, such as those used in IC wafer steppers, employ laser interferometers for position feedback sensors. In a typical application, three degrees of freedom are measured. Two of these are linear displacement of the stage along the X and Y axes. The third is yaw, rotation of the stage about the Z axis orthogonal to the X-Y plane.

Plane mirror interferometers are typically used to make these measurements. Two measurement mirrors are mounted on the stage, one orthogonal to the X axis, the other orthogonal to the Y axis. The length of these plane mirrors is determined primarily by the distance the stage travels in both X and Y.

Conventionally, a sepatate plane mirror interferometer optical assenbly is necessary to measure each degree of freedom. Two optical assemblies are used to measure X and Y position. A third optical assembly is necessary on either the X or Y axis to measure yaw angle. The third interferometer measures a separate position measurement, e.g., X' at a distance d from the X position measurement. With X, X', and d (the distance between X and X'), the yaw angle theta can be calculated.

$$\text{Theta} = \text{Arctan}((X-X')/d) \qquad (1)$$

In addition to these typical measurements, measuring pitch and roll of the stage (rotation about the X and Y axes respectively) will be desirable as the need increases to position wafer stepper stages more precisely. With a conventional system, an additional plane mirror interferometer optical assembly is needed for each additional degree of freedom measured.

There are a number of disadvantages to using additional interferometer optical assembliess to measure each additional degree of freedom. One disadvantage is the cost of additional interferometer and associated mounting hardware and additional beam directing optics and their mounting hardware. A second disadvantage is the labor needed to align the additional interferometer and associated beam directing optics.

Other disadvantages affect the stage. The measurement plane mirror must be lengthened by the distance d, or another mirror must be added, to accommodate additional measurements on an axis. To measure pitch or roll the mirror must be taller as well as longer. With conventional plane mirror interferometer optical assemblies, d is a minimum of 2.5" because of the size of the interferometers. The size and mass of the larger mirror on the stage is undesirable because it increases the inertia of the stage. The larger mirrors can also obstruct air flow over the stage.

Additional interferometer optical assemblies also present obstructions to air flow in the stage area, in conflict with another need of precision stages in wafer steppers. To minimize temperature and pressure gradients around the stage, manufacturers are starting to use laminar air flow across the stage. The space taken up by the additional interferometers around the stage causes turbulence in the air flow over the stage, disrupting laminar flow and allowing hot spots and pressure variations to form. Thus, it is desirable to limit the number of interferometer optical assemblies around the stage.

According to the invention these problems are solved by an interferometer comprising the features of claim 1.

The linear-and-angular measuring plane mirror interferometer of the invention measures two degrees of freedom, both linear translation and rotation angle, using a single interferometer optical assembly. In alternate orientations it can be used to measure either the pitch, roll or yaw angle of the stage. With one of these interferometers and one conventional plane mirror interferometer, X, Y, and yaw of a stage can be measured. To measure X, Y, pitch, roll, and yaw of the stage, only three interferometer optical assemblies are necessary, one a conventional plane mirror interferometer and two others linear-and-angular measuring plane mirror interferometers. Five conventional plane mirror interferometer optical assemblies would be necessary to make such a measurement, and the stage mirrors would have to be made much larger than normal.

The linear-and-angular measuring interferometer of the invention splits the measurement beam at the interferometer optic, using a single integrated optical assembly to make measurements at two locations on the measuring mirror on the stage. The invention uses a number of shared optical components to implement two interferometers with a single optical assembly that is only slightly larger than an optical assembly for a conventional plane mirror interferometer.

In a first embodiment, the input beam is split, and two separate measurements, X and X', are made at two locations separated by a distance d. X-X' is calculated electronically by subtracting the X' result from the X result. .

A second embodiment optically produces a direct measurement of X-X' at a detector. The input beam makes one interferometer measurement for X, then the polarization of part of the resulting output beam is rotated and the rotated part of the beam is returned for a second pass to make an interferometer measurement at a location offset by a distance d from the first pass measurement. The resulting second pass output beam optically produces a direct measurement of X-X' at a detector.

Since the interferometer of the invention measures both linear translation and angle of a moving stage, in a single optical assembly, the need for a second interferometer optical assembly on that axis is eliminated. This reduces the obstruction to airflow in stage area, and also reduces the difficulty of aligning the system because fewer separate optical elements are used. The compact beam spacing allows for a minimum size measuring mirror, making roll and pitch measurement practical because the smaller vertical dimension of the measuring mirror can be accommodated more easily on the stage. In the second embodiment, the X-X' detector registers counts only when the stage is rotated. This simplifies the stage control electronics.

Figure 1 shows a first embodiment of the invention in a plane mirror interferometer, in which the input beam is split before passing through the optical assembly, and two separate measurements, X and X', are made.

Figure 2 shows a second embodiment of the invention, in which the input beam 112 is split after making one pass through the optical assembly.

Figure 3 shows a further embodiment of the invention in an interferometer that has high thermal stability, with an optical path similar to the optical arrangement of the Figure 1 embodiment.

Figure 4 shows a further embodiment of the invention in an interferometer that has high thermal stability, with an optical path similar to the optical arrangement of the Figure 2 embodiment.

Figures 5 and 6 show schematic diagrams of a laser interferometer measurement system incorporating linear-and-angular measurement interferometers according to the invention.

Figure 1 shows a first embodiment of the invention in a plane mirror interferometer. The interferometer uses a light source 111 to produce an input beam 112 comprising a reference beam 113 and a measurement beam 115. Light source 111 is preferably a two-frequency laser producing a reference beam 113 of frequency f_1 linearly polarized in the plane of the drawing and a measurement beam of frequency f_2 linearly polarized perpendicular to the plane of the drawing.

The input beam 112 is split before it enters the optical assembly 120 of the interferometer. The reference beam 113 and the measurement beam 115 are split into two sets, 113a, 115a and 113b, 115b. The reference beams 113a, 113b follow a fixed length path through optical assembly 120 and to detectors 141 and 143. The measurement beams 115a, 115b follow a path to a movable measurement mirror 121 on the object 110. The two measurement beams are directed along parallel paths separated by a distance d, to make essentially two independent measurements of the distance to the object 110. The mirror surface 122 of movable mirror 121 reflects the measurement beams back through optical assembly 120 and to detectors 141 and 143. Detectors 141 and 143 use mixing polarizers to mix the reference and measurement beams and a photodetector to detect the fringes of the interference pattern that results when the path length of a measurement beam changes.

Optical assembly 120 comprises a polarizing beam splitter 123 with a beam splitting surface 124 at a 45 degree angle to the incident light beams, quarter wave plate 125 and cube corners 127, 129, 131 and 133. Quarter wave plate 125 is transparent and effectively rotates the plane of polarization of the beams by 90 degrees each time the beams traverse the quarter wave plate twice.

The first reference beam 113a and the first measurement beam 115a are the portion of the input beam 112 transmitted by non-polarizing 50% beam splitter 117. The first reference beam 113a is at frequency f_1 and linearly polarized in the plane of the drawing. Beam 113a is reflected by beam splitting surface 124 to cube corner 129 where it is redirected back through polarizing beam splitter 123, and reflected by beam splitting surface 124 on a path parallel to its original path toward detector 141.

First measurement beam 115a is at frequency f_2 and linearly polarized perpendicular to the plane of the drawing. Being polarized perpendicular to reference beam 113a, first measurement beam 115a passes through beam splitting surface 124 and through quarter wave plate 125 to movable mirror 121 which reflects it back toward optical assembly 120, again through quarter wave plate 125. This time beam 115a is reflected by beam splitting surface 124 toward cube corner 129 which returns it to beam splitting surface 124 which directs first measurement beam 115a back through quarter wave plate 125 to moveable measurement mirror 121 and then back through quarter wave plate 125. With the polarization state changed by 90 degrees, measurement beam 115a passes through beam splitting surface 124 to detector 141.

The second reference beam 113b and the second measurement beam 115b are the portion of the input beam 112 reflected by non-polarizing 50% beam splitter 117 to reflector 119 which redirects the beams 113b and 115b into the polarizing beam splitter 123 along a path parallel to the path of beams 113a and 115a. The beam 115b is reflected by the measurement mirror 121 at a location at a distance d from where the beam 115a contacted the measurement mirror 121, wherein the paths of the beams 113 and 113b partially coincide with the paths of the beams 115a and 115b, respectively, but do not contact the measurement mirror 121. The distance d is determined by the spacing between the centerlines of cube corners 129 and 133.

Second reference beam 113b is reflected by beam

splitting surface 124 to cube corner 131 where it is redirected back through polarizing beam splitter 123, and reflected by beam splitting surface 124 on a path parallel to its original path towards detector 143.

Second measurement beam 115b passes through beam splitting surface 124 and through quarter wave plate 125 to movable mirror 121 which reflects it back toward optical assembly 120, again through quarter wave plate 125. This time beam 115b is reflected by beam splitting surface 124 toward cube corner 133 which returns it to beam splitting surface 124 which directs second measurement beam 115b back through quarter wave plate 125 to moveable measurement mirror 121 and then back through quarter wave plate 125. With the polarization state changed by 90 degrees, the second measurement beam 115b passes through beam splitting surface 124 to detector 143.

The first reference beam 113a and the first measurement beam 115a are combined to form first output beam 135, which is directed to the first detector 141. The second reference beam 113b and the second measurement beam 115b are combined to form second output beam 137, which is directed to second detector 143. Detectors 141 and 143 use mixing polarizers to mix the reference and measurement beams and a photodetector to detect the fringes of the interference pattern that results when the path length of a measurement beam changes. Both detectors measure changes in the distance to the measurement plane mirror 121, and thus to object 110. But because the two measurements are made a distance d apart, the rotation (yaw) of the object 110 can be calculated from the difference between the two measurements.

The distance measurement made by first detector 141 is used as the X-axis linear displacement measurement X. The measurement made by second detector 143, X', is used to calculate the rotation angle theta using formula (1) as explained above:

$$\text{Theta} = \text{Arctan}((X-X')/d) \qquad (1)$$

The resolution of the rotation angle measurement depends on the length of d, among other things. If the other variables are held constant, doubling the length d will also increase the resolution by a factor of two. In a typical interferometer system, with a system resolution of 1/128 of the beam wavelength and a beam wavelength of 633 nanometers, a length d of 0.5 inches will produce a resolution of 0.08 arc seconds for the rotation angle measurement. In the same system, if d is doubled, to 1.0 inch, the resountion is increased proportionately, to 0.04 arc seconds. Another well known way to increase resolution is to increase the number of round trips the measurement beam makes to the measurement mirror. The disadvantage to this method is a decrease in the capability of the interferometer system to measure high slew rates.

In the embodiment shown in Figure 1, the rotation angle theta must be calculated from the two measurement results, using for example a microprocessor (not shown). In another embodiment, shown in Figure 2 and described in more detail below, the difference X-X' is generated optically and measured directly by the detector, eliminating the need for the electronic calculation. If only an error indication is required, and not the actual value of the rotation angle theta, the difference X-X' may be a sufficient output signal, eliminating the need for any electronic calculation.

Figure 2 shows a second embodiment of the invention, in which the input beam 212 makes one pass through the optical assembly 220, and the resulting first pass output beam 235 is split. Part of the first pass output beam 235 is directed to a first detector 241, to make the X-axis displacement measurement along the X path. The other portion of the first pass output beam 235 becomes the second pass input beam 214. The polarization of the second pass input beam 214 is rotated 90 degrees by half wave plate 245 and beam 214 then makes a second pass through the optical assembly 220. The second pass to object 210 is along the X' path, parallel to and offset from the X path by the distance d. The second pass output beam is directed to a second detector 243.

Over the first and second passes, the f_1 component and the f_2 component of the beam each traverse both reference and measurement paths, a distance d apart. If the object 210 has not rotated, the paths lengths for the f_1 component and the f_2 component will be the same. Any yaw rotation of the measurement mirror 221 will produce a difference in the path lengths and an apparent distance change measured at the second detector 243.

Optical assembly 220 in Figure 2 is similar to optical system 120 shown in Figure 1. The two differences are the position of the non-polarizing beam splitter 217 and the addition of a half wave plate 245. The components in the Figure 2 embodiment which correspond to the components in the Figure 1 embodiment, have reference numbers 2XX rather than 1XX.

In the Figure 2 embodiment, the input beam 212 makes one pass through the optical assembly 220, and the resulting first pass output beam 235 is split. Thus, the non-polarizing beam splitter 217 is not located in the path of the input beam 212, as it is in the Figure 1 embodiment. Instead, the non-polarizing beam splitter 217 is located in the path of the first pass output beam 235, after the beam has made one pass through the optical assembly 220. Beam splitter 217 splits the first pass output beam 235 so a portion is transmitted to the first detector 241 and another portion, beam 214, is reflected to reflector 219, through half wave plate 245 and directed into the optical assembly 220 for a second pass to produce a second pass output beam 237 that is directed to second detector 243 for measuring the yaw rotation of the object 210.

Half wave plate 245 rotates the polarization of the f_1 and f_2 components of the beam 214 by 90 degrees. As a result, the f_1 component of beam 214, which followed the reference path on the first pass now follows a measurement path to the measurement mirror 221 and back.

The f_2 portion of beam 214, which followed the measurement path on the first pass, now follows a reference path. If the object 210 undergoes a pure translation along the X-axis, the f_1 path will change on the beam's first pass through the optical assembly 220, and the f_2 path length will change correspondingly on the beam's second pass through the optical assembly 220. The two changes will cancel, so there will be no indication at detector 243. If the object 210 undergoes a yaw rotation, the f_1 and f_2 path lengths will change differentially, and there will be an indication of a change at the second detector 243.

The distance measurement made by first detector 241 is used as the X-axis linear displacement measurement X. The measurement made by second detector 243 is a direct measurement of X-X' because of the path switching of the f_1 and f_2 components. This X-X' measurement can be used to calculate the rotation angle theta using formula (1), or as an error indication.

Figures 3 and 4 show two further embodiments of the invention that have high thermal stability, incorporating the teachings of US Patent No. 4,784,490 "High Thermal Stability Plane Mirror Interferometer". The Figure 3 and 4 embodiments are otherwise similar to the optical arrangements of the Figure 1 and 2 embodiments, respectively. In the Figure 3 and 4 embodiments, two of the cube corners are replaced with a reflective quarter wave plate 351, 451 having the same optical thickness as the quarter wave plates 325 and 425, respectively. The substitution of the reflective quarter wave plate changes the reference paths so that the reference and measurement beams follow different but optically equivalent paths through optical elements that are in thermal equilibrium. That is, the path lengths through the high refractive index medium of the optics are the same length, but do not follow the same path.

In Figure 3, quarter wave plate 351 replaces cube corners 127 and 131 of Figure 1. In Figure 4, quarter wave plate 451 replaces cube corners 227 and 231 of Figure 2.

As in the Figure 1 and Figure 2 embodiments, in the embodiment shown in Figure 3, the rotation angle theta must be calculated from the two measurement results X and X'. In the embodiment shown in Figure 4, the difference X-X' is generated optically and measured directly by the detector, eliminating the need for the electronic calculation. If only an error indication is required, and not the actual value of the rotation angle theta, the difference X-X' may be a sufficient output signal, eliminating the need for any electronic calculation.

An inspection of the paths of reference beams 313a and 313b and measurement beams 315a and 315b in Figure 3 reveals that where the beams follow paths that are not common, their lengths are equivalent, except for the paths from the optical assembly to the measurement mirror. Thus, paths a, b, c and d of reference beams 313a and 313b have the same length as paths a', b', c' and d' of measurement beams 315a and 315b.

An inspection of the paths of the reference and measurement portions of first input beam and second input beam in Figure 4 reveals that where the beams follow paths that are not common, their lengths are equivalent, except for the paths from the optical assembly to the measurement mirror. Thus, paths a, b, c and d of the reference portions 421a, 414a of beams 412 and 414 in Figure 4 have the same length as paths a', b', c' and d' of the measurement portions 412b, 414b of beams 412 and 414.

Figure 5 shows a schematic diagram of a laser interferometer measurement system incorporating one linear-and-angular measurement interferometer and one conventional plane mirror interferometer for measuring linear displacement along the X and Y axes, and yaw (rotation around the Z axis). The beams for the two interferometers are provided by a laser 511 through a 33% beam splitter 513. The linear-and-angular measurement interferometer 515 is located on the Y axis for measuring the Y displacement of the stage 510 at detector 521, and measuring Y-Y' at detector 523 to determine the yaw. The conventional plane mirror interferometer 517 is located on the X axis for measuring the X displacement of the stage 510 at detector 525. The X and Y displacement measurements are made on the centerline of the optical column (not shown) over the stage 510.

Figure 6 shows a schematic diagram of a laser interferometer measurement system incorporating two linear-and-angular measurement interferometers and one conventional plane mirror interferometer for measuring linear displacement along the X and Y axes, and pitch, roll and yaw (rotation around the X, Y and Z axes respectively). The beams for the three interferometers are provided by a laser 511 through two 33% beam splitters 513 and 514. The conventional plane mirror interferometer 517 is located on the Y axis for measuring the Y displacement of the stage 510 at detector 621. One linear-and-angular measurement interferometer 515 is located along the Y axis for measuring Y' at detector 523 and Y" at detector 525. The Y' and Y" measurements are made at a location offset from the Y measurement in the X axis direction. The Y' and Y" measurements are offset from each other by a distance d in the Z axis direction. Thus Y-Y' can be used to determine the yaw of stage 510 and Y'-Y" can be used to determine the pitch of stage 510. The second linear-and-angular measurement interferometer 517 is located on the X axis for measuring the X displacement of the stage 510 at detector 527, and measuring X-X' at detector 529. The X and X' measurements are offset from each other by a distance d in the Z axis direction, so X-X' can be used to determine the roll of stage 510. The two plane measurement mirrors 631 and 633 must be larger than d in the Z axis direction to accommodate the pitch and roll measurements.

The optical assembly of the invention can be configured either in a "straight through" alignment, as illustrated in Figures 1-4, or in a "right angle" alignment, as illustrated in Figures 5 and 6, to suit the needs of the installation.

Claims

1. An interferometer for measuring the linear displacement of an object (110; 210) along a first axis and the angular displacement of the object around a second axis orthogonal to the first axis, wherein the first axis is parallel to the light beam incident on said object, comprising a light source (111; 211) for producing a coherent light beam (112; 212) being split into measuring and reference beam components (115,113)

   reflecting means (121; 221) mounted on a movable measurement plane located on the object, for reflecting the beam;
   a single integral optical assembly means (120; 220) for directing respective components of the split beam along a first path between the optical assembly means and the reflecting means, along a second path between the optical assembly means and the reflecting means, and along a first and a second reference path, the first path incident on the reflecting means at only two points symmetrically arranged around a first location and the second path incident on the reflecting means at only two points symmetrically arranged around a second location,
   wherein the first and second locations are separated by a predetermined distance d,
   detector means (141; 241) for combining the respective split beams after they have travelled along the first path and the first reference path, respectively, for detecting a first interference pattern that results from a change in length of the first path, and for determining a change in length of the first path in response to changes in the first interference pattern wherein said change in length of the first path corresponds to the linear displacement of the object;
   detector means (143; 243) for combining the respective split beams after they have travelled along the second path and the second reference path, respectively, for detecting a second interference pattern that results form a change in length of the second path, and for determining a change in length of the second path in response to changes in the second interference pattern; and
   means (143; 243; 245) responsive to changes in the second interference pattern for determining a difference between the change in length of the first path and a change in the length of the second path, wherein said difference corresponds to the angular displacement of the object (110; 210).

2. The interferometer of claim 1, **characterized** in that the distance d is less than 3.08 cm (2 inches).

3. The interferometer of claim 1 or 2, **characterized** in that the means for determining the change in the length of the first path comprises a first detector (141) positioned for receiving the beam after the beam has traversed the first path and measuring the change in the length of the first path; and the means for determining the difference between the change in the length of the first path and the change in the length of the second path comprises a second detector (143), positioned for receiving the beam after the beam has traversed the second path, for measuring the change in the length of the second path, and counting means responsive to the first detector (141) and to the second detector (143) for calculating the difference between the change in the length of the first path and the change in the length of the second path by counting successive passages of bands of the interference patterns which vary in accordance with changes in linear and angular displacement of the object.

4. The interferometer of claim 1 or 2, **characterized** in that the coherent light beam comprises a plane polarized first component (212) and a second component (214) plane polarized perpendicular to the first component;

   the means for determining the change in the length of the first path comprises a first detector (241) positioned for receiving the beam after the beam has traversed the first path and measuring the change in the length of the first path; and the means for determining the difference between the change in the length of the first path and the change in the length of the second path comprises optical means (245) for rotating the polarization of the first and second components by ninety degrees between the first path and the second path, and a second detector (243) positioned for receiving the beam after the beam has traversed the second path, for determining the change in the length of the first path with respect to the length of the second path.

5. The interferometer of claim 3, **characterized** in that the optical assembly means comprises:

   a first beam splitter (123) having a square cross section with a first surface through which the light beams enter from the light source means (111), a second surface opposite the first surface, third and fourth surfaces adjacent the first surface, and with a first plane polarizing beam splitter surface (124) diagonal to the first surface;
   a transparent quarter wave plate (125) mounted on the second surface;
   first and second cube corners (127, 131)

mounted on the third surface;
third and fourth cube corners (129, 133) mounted on the fourth surface;
a second beam splitter (117) mounted in the path of the beam between the light source (111) and the first surface, for splitting the beam into a first portion following the first path and a second portion following the second path;
the first component of the beam follows a reference path (113) and the second component of the beam follows a measurement path (115); and
the first path passes through the second beam splitter, then the first beam splitter (123) separates the first component of the beam from the second component of the beam, the first component passing sequentially through the first beam splitter, through the first cube corner (127), once through the beam splitter, and to the detector (141); the second component passing sequentially through the beam splitter, the transparent quarter wave plate (125), to the reflecting means (121), through the transparent quarter wave plate, the first beam splitter (117), the third cube corner (129), the first beam splitter, the transparent quarter wave plate, to the reflecting means, through the transparent quarter wave plate, the first beam splitter, and to the first detector;
the second path is reflected by the second beam splitter, then the first beam splitter (123) separates the first component of the beam from the second component of the beam, the first component passing sequentially through the first beam splitter (123), through the second cube corner (131), once through the first beam splitter (123), and to the detector (143); the second component passing sequentially through the first beam splitter (123), the transparent quarter wave plate (125), to the reflecting means (121), through the transparent quarter wave plate, the first beam splitter, the fourth cube corner (133), the first beam splitter, the transparent quarter wave plate, to the reflecting means (121), through the transparent quarter wave plate, the first beam splitter, and to the second detector (143).

6. The interferometer of claim 4, **characterized** in that the optical assembly means comprises:

a first beam splitter (223) having a square cross section with a first surface through which the light beams enter from the light source means (211), a second surface opposite the first surface, third and fourth surfaces adjacent the first surface, and with a plane polarizing beam splitter surface (223) diagonal to the first surface;
a transparent quarter wave plate (225) mounted on the second surface;
first and second cube corners (227, 231) mounted on the third surface;
third and fourth cube corners (229, 233) mounted on the fourth surface;
a second beam splitter (217) mounted in the path of the beam between the first beam splitter (223) and the first detector (241) for splitting the beam into a first portion directed to the first detector and a second portion directed through a half wave plate (245) and back into the first beam splitter (223) through the first surface;
the first component of the beam is initially polarized so that it is reflected by the polarizing beam splitter surface and the second component of the beam is initially polarized so that it is transmitted by the polarizing beam splitter surface; and
the beam passes into the first beam splitter (223) which separates the first component of the beam from the second component of the beam, the first component passing sequentially through the first beam splitter (223), through the first cube corner (227), once through the first beam splitter, and toward the first detector (241); the second component passing sequentially through the first beam splitter (223), the transparent quarter wave plate (225), to the reflecting means (221), through the transparent quarter wave plate, the first beam splitter, the third cube corner (229), the first beam splitter, the transparent quarter wave plate, to the reflecting means, through the transparent quarter wave plate, the first beam splitter, and toward the first detector (241);
the beam is then split by the second beam splitter (217) into a first pass output beam portion passing to the first detector (241) and a second pass beam portion directed through the half wave plate (245) which rotates the plane of polarization of the first and second beam components by ninety degrees so the first component is transmitted and the second component is reflected by the polarizing beam splitter surface (224); and
the second pass beam portion then passes through the first surface of the first beam splitter (223), the first beam splitter separates the first component of the second pass beam portion beam from the second component of the second pass beam portion, the second component passing sequentially through the first beam splitter (223), through the second cube corner (231), once through the first beam splitter, and to the second detector (243); the first component passing sequentially through the first beam splitter, the transparent quarter wave plate

(225), to the reflecting means (221), through the transparent quarter wave plate, the first beam splitter, the fourth cube corner (233), the first beam splitter (223), the transparent quarter wave plate, to the reflecting means, through the transparent quarter wave plate, the first beam splitter, and to the second detector (243).

7. The interferometer of claim 1 or 2, **characterized** in that the optical assembly means further comprises:

a first beam splitter having a square cross section with a first surface through which the light beams enter from the light source means, a second surface opposite the first surface, third and fourth surfaces adjacent the first surface, and with a first plane polarizing beam splitter surface diagonal to the first surface;
a transparent quarter wave plate (325) mounted on the second surface;
a reflective quarter wave plate (351) mounted on the third surface;
first and second cube corners mounted on the fourth surface;
a second beam splitter mounted in the path of the beam between the light source and the first surface, for splitting the beam into a first portion following the first path and a second portion following the second path;
a first component of the beam follows a reference path and a second component of the beam follows a measurement path; and
the first path passes through the second beam splitter then the first beam splitter separates the first component of the beam from the second component of the beam, the first component passing sequentially through the first beam splitter, the reflective quarter wave plate, through the first beam splitter, the first cube corner, through the first beam splitter, the reflective quarter wave plate, the first beam splitter, and to the first detector;
the second component passing sequentially through the first beam splitter, the transparent quarter wave plate (325), to the reflecting means, through the transparent quarter wave plate, the first beam splitter, the first cube corner, the first beam splitter, the transparent quarter wave plate, to the reflecting means, through the transparent quarter wave plate, the first beam splitter, and to the first detector;
the second path is reflected by the second beam splitter, then the first beam splitter separates the first component of the beam from the second component of the beam, the first component passing sequentially through the first beam splitter, the reflective quarter wave plate, through the the first beam splitter, the second cube corner, through the first beam splitter, the reflective quarter wave plate, the first beam splitter, and to the second detector;
the second component passing sequentially through the first beam splitter, the transparent quarter wave plate (325), to the reflecting means, through the transparent quarter wave plate, the first beam splitter, the second cube corner, the first beam splitter, the transparent quarter wave plate, to the reflecting means, through the transparent quarter wave plate (325), the first beam splitter, and to the second detector.

Patentansprüche

1. Interferometer zum Messen der linearen Versetzung eines Gegenstandes (110;210) längs einer ersten Achse und der Winkelversetzung des Gegenstands um eine zweite Achse, die zur ersten Achse orthogonal ist, wobei die zweite Achse parallel zu dem Lichtstrahl ist, welcher auf den Gegenstand fällt, mit

einer Lichtquelle (111;211) zum Erzeugen eines kohärenten Lichtstrahles (112;212), der in Meß- und Bezugsstrahlkomponenten (115,113) aufgeteilt wird, einer reflektierenden Vorrichtung (121;221), die an einer beweglichen Meßfläche montiert ist, welche auf dem Gegenstand liegt, zum Reflektieren des Strahles, einer einzelnen einteiligen optischen Anordnung (120;220) zum Leiten entsprechender Komponenten des aufgeteilten Strahles längs eines ersten Weges zwischen der optischen Anordnung und der reflektierenden Vorrichtung, längs eines zweiten Weges zwischen der optischen Anordnung und der reflektierenden Vorrichtung und längs eines ersten und eines zweiten Bezugsweges, wobei der erste Weg nur bei zwei Punkten auf die reflektierende Vorrichtung auftrifft, welche symmetrisch um eine erste Position herum angeordnet sind, und der zweite Weg nur bei zwei Punkten auf die reflektierende Vorrichtung auftrifft, welche symmetrisch um eine zweite Position herum angeordnet sind, wobei die erste und die zweite Position durch einen vorgegebenen Abstand d getrennt sind,
einer Detektorvorrichtung (141;241) zum Kombinieren der jeweiligen aufgeteilten Strahlen, nachdem sie längs des ersten Weges bzw. des zweiten Weges gelaufen sind, zum Erfassen eines ersten Interferenzmusters, welches sich aus einer Änderung der Länge des ersten Weges ergibt und zum Ermitteln einer Änderung der Länge des ersten Weges abhängig von Änderungen des ersten Interferenzmusters,

wobei die Änderung der Länge des ersten Weges der linearen Versetzung des Gegenstandes entspricht,
einer Detektorvorrichtung (143;243) zum Kombinieren der jeweiligen aufgeteilten Strahlen, nachdem sie längs des zweiten Weges bzw. des zweiten Bezugswegs gelaufen sind, zum Erfassen eines zweiten Interferenzmusters, welches sich aus einer Änderung der Länge des zweiten Weges ergibt, und zum Ermitteln einer Änderung der Länge des zweiten Weges abhängig von Veränderungen des zweiten Interferenzmusters, und
einer Vorrichtung (143;243;245), welche auf Veränderungen im zweiten Interferenzmuster anspricht, um eine Differenz zwischen der Änderung der Länge des ersten Weges und einer Änderung der Länge des zweiten Weges zu bestimmen, wobei diese Differenz der Winkelversetzung des Gegenstandes (110;210) entspricht.

2. Interferometer nach Anspruch 1, dadurch **gekennzeichnet**, daß der Abstand d kleiner als 3.08 cm (2 inch) ist.

3. Interferometer nach Anspruch 1 oder 2, dadurch **gekennzeichnet,** daß die Vorrichtung zum Bestimmen der Änderung der Länge des ersten Weges einen ersten Detektor (141) aufweist, der so angeordnet ist, daß er den Strahl empfängt, nachdem der Strahl den ersten Weg überquert hat, und die Änderung der Länge des ersten Weges mißt, und
die Vorrichtung zum Ermitteln der Differenz zwischen der Änderung der Länge des ersten Weges und der Änderung der Länge des zweiten Weges einen zweiten Detektor (143) aufweist, der so angeordnet ist, daß er den Strahl empfängt, nachdem der Strahl den zweiten Weg überquert hat, um die Änderung der Länge des zweiten Weges zu messen, und eine Zählvorrichtung aufweist, die auf den ersten Detektor (141) und den zweiten Detektor (143) anspricht, um die Differenz zwischen der Änderung der Länge des ersten Weges und der Änderung der Länge des zweiten Weges durch Zählen aufeinanderfolgender Durchgänge von Streifen des Interferenzmusters zu berechnen, wobei sich die Interferenzmuster abhängig von Änderungen der linearen Versetzung und der Winkelversetzung des Gegenstandes ändern.

4. Interferometer nach Anspruch 1 oder 2, dadurch **gekennzeichnet**, daß der kohärente Lichtstrahl eine erste linear polarisierte Komponente (212) und eine zweite Komponente (214) aufweist, die senkrecht zu der ersten Komponente linear polarisiert ist, die Vorrichtung zum Ermitteln der Änderung der Länge des ersten Weges einen ersten Detektor (241) aufweist, der so positioniert ist, daß er den Strahl empfängt, nachdem den Strahl den ersten Weg überquert hat, und die Änderung der Länge des ersten Weges mißt, und die Vorrichtung zum Ermitteln der Differenz zwischen der Änderung der Länge des ersten Weges und der Änderung der Länges des zweiten Weges eine optische Vorrichtung (245) zum Drehen der Polarisierung der ersten und der zweiten Komponenten um 90° zwischen dem ersten Weg und dem zweiten Weg aufweist, und einen zweiten Detektor (243) aufweist, der so angeordnet ist, daß er den Lichtstrahl empfängt, nachdem der Lichtstrahl den zweiten Weg überquert hat, um die Änderung der Länge des ersten Weges relativ zu der Länge des zweiten Weges zu ermitteln.

5. Interferometer nach Anspruch 3, dadurch **gekennzeichnet**, daß die optische Anordnung folgende Merkmale aufweist:

einen ersten Strahlenteiler (123) mit einem rechteckigen Querschnitt und mit einer ersten Oberfläche, durch welche die Lichtstrahlen von der Lichtquelle (111) eintreten, einer zweiten, der ersten Oberfläche gegenüberliegenden Oberfläche, einer dritten und einer vierten, an die erste Oberfläche angrenzenden Oberfläche und mit einer ersten linear polarisierenden Strahlenteileroberfläche (124), die diagonal zu der ersten Oberfläche verläuft,
eine transparente Lambda-Viertel-Platte (125), die an der zweiten Oberfläche montiert ist,
erste und zweite Kubusecken (127,131), die an der dritten Oberfläche montiert sind,
dritte und vierte Kubusecken (129,133), die an der vierten Oberfläche montiert sind,
einen zweiten Strahlenteiler (117), der in dem Weg des Strahls zwischen der Lichtquelle (111) und der ersten Oberfläche montiert ist, um den Strahl in einen ersten Teil, welcher dem ersten Weg folgt, und einen zweiten Teil, welcher dem zweiten Weg folgt, aufzuteilen,
wobei die erste Komponente des Strahls einem Bezugsweg (113) folgt und die zweite Komponente des Strahls einem Meßweg (115) folgt, und
der erste Weg durch den zweiten Strahlenteiler geht, der erste Strahlenteiler (123) dann die ersten Komponente des Strahls von der zweiten Komponente des Strahls trennt, die erste Komponente nacheinander durch den ersten Strahlenteiler, durch die erste Kubusecke (127), einmal durch den Strahlenteiler und zu dem Detektor (141) geht; die zweite Komponente nacheinander durch den Strahlenteiler, die transparente Lambda-Viertel-Platte (125), zu der reflektierenden Vorrichtung (121), durch die transparente Lambda-Viertel-Platte, den ersten Strah-

lenteiler (117), die dritte Kubusecke (129), den ersten Strahlenteiler, die transparente Lambda-Viertel-Platte, zu der reflektierenden Vorrichtung, durch die transparente Lambda-Viertel-Platte, den ersten Strahlenteiler und zu dem ersten Detektor geht,
wobei der zweite Weg von dem zweiten Strahlenteiler reflektiert wird, dann der erste Strahlenteiler (123) die erste Komponente des Strahls von der zweiten Komponente des Strahls trennt, die erste Komponente nacheinander durch den ersten Strahlenteiler (123), durch die zweite Kubusecke (131), einmal durch den ersten Strahlenteiler (123) und zu dem Detektor (143) geht; die zweite Komponente nacheinander durch den ersten Strahlenteiler (123), die transparente Lambda-Viertel-Platte (125), zu der reflektierenden Vorrichtung (121), durch die transparent Lambda-Viertel-Platte, den ersten Strahlenteiler, die vierte Kubusecke (133), den ersten Strahlenteiler, die transparente Lambda- Viertel-Platte, zu der reflektierenden Vorrichtung (121), durch die transparente Lambda-Viertel-Platte, den ersten Strahlenteiler und zu dem zweiten Detektor (143) geht.

6. Interferometer nach Anspruch 4, dadurch **gekennzeichnet**, daß die optische Anordnung folgende Merkmale aufweist:

einen ersten Strahlenteiler (223) mit einem rechteckigen Querschnitt und mit einer ersten Oberfläche, durch welche die Lichtstrahlen von der Lichtquelle (211) eintreten, einer zweiten, der ersten Oberfläche gegenüberliegenden Oberfläche, einer dritten und einer vierten Oberfläche, welche an die erste Oberfläche angrenzen, und mit einer linear polarisierenden Strahlenteileroberfläche (223), die diagonal zu der ersten Oberfläche verläuft,
eine transparente Lambda-Viertel-Platte (225), die an der zweiten Oberfläche montiert ist,
erste und zweite Kubusecken (227,231), die an der dritten Oberfläche montiert sind,
dritte und vierte Kubusecken (229,233), die an der vierten Oberfläche montiert sind,
einen zweiten Strahlenteiler (217), der in dem Weg des Strahles zwischen dem ersten Strahlenteiler (223) und dem ersten Detektor (241) montiert ist, zum Aufteilen des Strahles in einen ersten Teil, der zu dem ersten Detektor gerichtet ist, und einen zweiten Teil, der durch eine Lambda-Halbe-Platte (245) und zurück zu dem ersten Strahlenteiler (223) durch die ersten Oberfläche gerichtet ist,
wobei die erste Komponente des Strahles anfänglich polarisiert wird, so daß sie von der polarisierenden Strahlenteileroberfläche reflektiert wird, und die zweite Komponente des Strahls anfänglich polarisiert wird, so daß sie von der polarisierenden Strahlenteileroberfläche übertragen wird, und
der Strahl in den ersten Strahlenteiler (223) geht, der die ersten Komponente des Strahls von der zweiten Komponente des Strahls trennt, die ersten Komponente nacheinander durch den ersten Strahlenteiler (223), durch die erste Kubusecke (227), einmal durch den ersten Strahlenteiler und in Richtung zum ersten Detektor (241) geht; die zweite Komponente nacheinander durch den ersten Strahlenteiler (223), die transparente Lambda-Viertel-Platte (225), zu der reflektierenden Vorrichtung (221), durch die transparent Lambda-Viertel-Platte, den ersten Strahlenteiler, die dritte Kubusecke (229), den ersten Strahlenteiler, die transparente Lambda-Viertel-Platte, zu der reflektierenden Vorrichtung, durch die transparente Lambda-Viertel-Platte, den ersten Strahlenteiler und in Richtung zum ersten Detektor (241) geht,
der Strahl dann von dem zweiten Strahlenteiler (217) in einen ersten Durchgangs-Ausgangs-Strahlenteil, der zu dem ersten Detektor (241) geht, und einen zweiten Durchgangs-Strahlenteil aufgeteilt wird, welcher durch die Lambda-Halb-Platte (245) geleitet wird, welche die Polarisationsebene der ersten und der zweiten Strahlenkomponente um 90° dreht, so daß die erste Komponente übertragen und die zweite Komponente von der polarisierenden Strahlenteileroberfläche (224) reflektiert wird, und
wobei der zweite Durchgangs-Strahlenteil dann durch die ersten Oberfläche des ersten Strahlenteilers (223) hindurchgeht, der erste Strahlenteiler die erste Komponente des zweiten Durchgangs-Strahlenteils von der zweiten Komponente des zweiten Durchgangs-Strahlenteils trennt, die zweite Komponente nacheinander durch den ersten Strahlenteiler (223), die zweite Kubusecke (231), einmal durch den ersten Strahlenteiler und zu dem zweiten Detektor (243) geht; die erste Komponente nacheinander durch den ersten Strahlenteiler, die transparent Lambda-Viertel-Platte (225), zu der reflektierenden Vorrichtung (221), durch die transparente Lambda-Viertel-Platte, den ersten Strahlenteiler, die vierte Kubusecke (233), den ersten Strahlenteiler (223), die transparent Lambda-Viertel-Platte, zu der reflektierenden Vorrichtung, durch die transparente Lambda-Viertel-Platte, den ersten Strahlenteiler und zu dem zweiten Detektor (243) geht.

7. Interferometer nach Anspruch 1 oder 2, dadurch **gekennzeichnet**, daß die optische Anordnung folgende Merkmale aufweist:

einen ersten Strahlenteiler mit einem rechteckigen Querschnitt und mit einer ersten Oberfläche, durch welche die Lichtstrahlen von der Lichtquelle eintreten, einer zweiten, der ersten Oberfläche gegenüberliegenden Oberfläche, einer dritten und einer vierten Oberfläche, welche an die erste Oberfläche angrenzen, und mit einer ersten linear polarisierenden Strahlenteileroberfäche, die zu der ersten Oberfläche diagonal verläuft,
eine transparente Lambda-Viertel-Platte (325), die an der zweiten Oberfläche montiert ist,
eine reflektierende Lambda-Viertel-Platte (351), die an der dritten Oberfläche montiert ist,
erste und zweite Kubusecken, die an der vierten Oberfläche montiert sind,
einen zweiten Strahlenteiler, der in dem Weg des Strahles zwischen der Lichtquelle und der ersten Oberfläche montiert ist, um den Strahl in einen ersten Teil, welcher dem ersten Weg folgt, und einen zweiten Teil, welcher dem zweiten Weg folgt, aufzuteilen, wobei eine erste Komponente des Strahles einem Bezugsweg folgt und eine zweite Komponente des Strahles einem Meßweg folgt, und
der erste Weg durch den zweiten Strahlenteiler geht, dann der erste Strahlenteiler die erste Komponente des Strahles von der zweiten Komponente des Strahles trennt, die erste Komponente nacheinander durch den ersten Strahlenteiler, die reflektierende Lambda-Viertel-Platte, durch den ersten Strahlenteiler, die erste Kubusecke, durch den ersten Strahlenteiler, die reflektierende Lambda-Viertel-Platte, den ersten Strahlenteiler und zu dem ersten Detektor geht,
die zweite Komponente nacheinander durch den ersten Strahlenteiler, die transparente Lambda-Viertel-Platte (325), zu der reflektierenden Vorrichtung, durch die transparente Lambda-Viertel-Platte, den ersten Strahlenteiler, die erste Kubusecke, den ersten Strahlenteiler, die transparent Lambda-Viertel-Platte, zu der reflektierenden Vorrichtung, durch die transparente Lambda-Viertel-Platte, den ersten Strahlenteiler und zu dem ersten Detektor geht,
der zweite Weg von dem zweiten Strahlenteiler reflektiert wird, dann der erste Strahlenteiler die erste Komponente des Strahls von der zweiten Komponente des Strahls trennt, die erste Komponente nacheinander durch den ersten Strahlenteiler, die reflektierende Lambda-Viertel-Platte, durch den ersten Strahlenteiler, die zweite Kubusecke, durch den ersten Strahlenteiler, die reflektierende Lambda-Viertel-Platte, den ersten Strahlenteiler und zu dem zweiten Detektor geht,
die zweite Komponente nacheinander durch den ersten Strahlenteiler, die transparente Lambda-Viertel-Platte (325), zu der reflektierenden Vorrichtung, durch die transparente Lambda-Viertel-Platte, den ersten Strahlenteiler, die zweite Kubusecke, den ersten Strahlenteiler, die transparente Lambda-Viertel-Platte, zu der reflektierenden Vorrichtung, durch die transparente Lambda-Viertel-Platte (325), den ersten Strahlenteiler und zu dem zweiten Detektor geht.

Revendications

1. Interféromètre pour mesurer le déplacement linéaire d'un objet (110; 210) le long d'un premier axe, et le déplacement angulaire de l'objet autour d'un second axe orthogonal au premier axe, dans lequel le premier axe est parallèle au faisceau lumineux incident sur ledit objet, comprenant une source de lumière (111; 211) pour produire un faisceau de lumière cohérente (112; 212), séparé en des composantes de faisceau de mesure et de référence (115, 113)

un moyen réflecteur (121; 221) monté sur un plan de mesure mobile situé sur l'objet, pour réfléchir le faisceau;
un moyen d'ensemble optique intégré unique (120; 220) pour diriger des composants respectifs du faisceau séparé, le long d'un premier chemin situé entre le moyen d'ensemble optique et le moyen réflecteur, le long d'un second chemin situé entre le moyen d'ensemble optique et le moyen réflecteur, et le long d'un premier et d'un second chemins de référence, le premier chemin ne frappant le moyen réflecteur qu'en deux points disposés symétriquement autour d'un premier emplacement, et le second chemin ne frappant le moyen réflecteur qu'en deux points disposés symétriquement autour d'un second emplacement,
dans lequel le premier et le second emplacements sont séparés d'une distance prédéterminé d,
des moyens détecteurs (141; 241) pour associer les faisceaux séparés respectifs après qu'ils aient parcouru respectivement le premier chemin et le premier chemin de référence, pour détecter un premier motif d'interférence qui provient d'une variation de longueur du premier chemin, et pour déterminer une variation de longueur du premier chemin, en réponse à des variations dans le premier motif d'interférence, dans lequel lesdites variations de longueur du

premier chemin correspondent au déplacement linéaire de l'objet;

des moyens détecteurs (143; 243) pour associer les faisceaux séparés respectifs après qu'ils aient parcouru respectivement le second chemin et le second chemin de référence, pour détecter un second motif d'interférence qui provient d'une variation de longueur du second chemin, et pour déterminer une variation de longueur du second chemin en réponse à des variations dans le second motif d'interférence; et

des moyens (143; 243; 245) sensibles à des variations dans le second motif d'interférence, pour déterminer une différence entre la variation de longueur du premier chemin et une variation de la longueur du second chemin, dans lequel ladite différence correspond au déplacement angulaire de l'objet (110; 210).

2. Interféromètre selon la revendication 1, caractérisé en ce que la distance d est inférieure à 3,08 cm (2 pouces).

3. Interféromètre selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que les moyens pour déterminer la variation de longueur du premier chemin comprennent un premier détecteur (141) placé de façon à recevoir le faisceau après que le faisceau ait traversé le premier chemin, et à mesurer la variation de la longueur du premier chemin; et les moyens pour déterminer la différence entre la variation de longueur du premier chemin et la variation de la longueur du second chemin comprennent un second détecteur (143), placé de façon à recevoir le faisceau après que le faisceau ait traversé le second chemin, pour mesurer la variation de la longueur du second chemin, et des moyens de comptage sensibles au premier détecteur (141) et au second détecteur (143), pour calculer la différence entre la variation de longueur du premier chemin et la variation de la longueur du second chemin, en comptant les passages successifs de bandes des motifs d'interférence qui varient en fonction des variations de déplacement linéaire et angulaire de l'objet.

4. Interféromètre selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que le faisceau de lumière cohérente comprend une première composante à polarisation plane (212) et une seconde composante à polarisation plane (214) polarisée perpendiculairement à la première composante;

les moyens pour déterminer la variation de longueur du premier chemin comprennent un premier détecteur (241) positionné pour recevoir le faisceau après que le faisceau ait traversé le premier chemin, et pour mesurer la variation de longueur du premier chemin; et les moyens pour déterminer la différence entre la variation de longueur du premier chemin et la variation de la longueur du second chemin comprennent des moyens optiques (245) pour faire tourner la polarisation de la première et de la seconde composantes de quatre-vingt-dix degrés entre le premier chemin et le second chemin, et un second détecteur (243) positionné pour recevoir le faisceau après que le faisceau ait traversé le second chemin, pour déterminer la variation de la longueur du premier chemin en fonction de la longueur du second chemin.

5. Interféromètre selon la revendication 3, caractérisé en ce que le moyen d'ensemble optique intégré comprend:

un premier séparateur de faisceau (123) comportant une section transversale carrée, avec une première surface à travers laquelle les faisceaux lumineux pénètrent depuis le moyen de source de lumière (111), une deuxième surface opposée à la première surface, une troisième et une quatrième surfaces adjacentes à la première surface, et avec une première surface de séparation de faisceau à polarisation plane (124), diagonale à la première surface;

une plaque en quart d'onde transparente (125), montée sur la deuxième surface;

un premier et un deuxième coins de cube (127, 131), montés sur la troisième surface;

un troisième et un quatrième coins de cube (129, 133), montés sur la quatrième surface;

un second séparateur de faisceau (117) monté sur le chemin du faisceau situé entre la source de lumière (111) et la première surface, pour séparer le faisceau entre une première partie qui suit le premier chemin et une seconde partie qui suit le second chemin;

la première composante du faisceau suit un chemin de référence (113) et la seconde composante du faisceau suit un chemin de mesure (115); et

le premier chemin traverse le second séparateur de faisceau, puis le premier séparateur de faisceau (123) sépare la première composante du faisceau de la seconde composante du faisceau, la première composante traversant en séquence le premier séparateur de faisceau, le premier coin de cube (127), une fois le séparateur de faisceau, et allant vers le détecteur (141); la seconde composante traversant en séquence le séparateur de faisceau, la plaque en quart d'onde transparente (125), allant vers le moyen réflecteur (121), traversant la plaque en quart d'onde transparente, le premier séparateur de faisceau (117), le troisième coin de cube (129), le premier séparateur de faisceau, la plaque en quart d'onde transparente, allant

vers le moyen réflecteur, traversant la plaque en quart d'onde transparente, le premier séparateur de faisceau, et allant vers le premier détecteur;
le second chemin est réfléchi par le second séparateur de faisceau, puis le premier séparateur de faisceau (123) sépare la première composante du faisceau de la seconde composante du faisceau, la première composante traversant en séquence le premier séparateur de faisceau (123), le deuxième coin de cube (131), une fois le séparateur de faisceau (123), et allant vers le détecteur (143); la seconde composante traversant en séquence le premier séparateur de faisceau (123), la plaque en quart d'onde transparente (125), allant vers le moyen réflecteur (121), traversant la plaque en quart d'onde transparente, le premier séparateur de faisceau, le quatrième coin de cube (133), le premier séparateur de faisceau, la plaque en quart d'onde transparente, allant vers le moyen réflecteur (121), traversant la plaque en quart d'onde transparente, le premier séparateur de faisceau, et allant vers le second détecteur (143).

6. Interféromètre selon la revendication 4, caractérisé en ce que le moyen d'ensemble optique intégré comprend:

un premier séparateur de faisceau (223) comportant une section transversale carrée, avec une première surface à travers laquelle les faisceaux lumineux pénètrent depuis le moyen de source de lumière (211), une deuxième surface opposée à la première surface, une troisième et une quatrième surfaces adjacentes à la première surface, et avec une première surface de séparation de faisceau à polarisation plane (223), diagonale à la première surface;
une plaque en quart d'onde transparente (225), montée sur la deuxième surface;
un premier et un deuxième coins de cube (227, 231), montés sur la troisième surface;
un troisième et un quatrième coins de cube (229, 233), montés sur la quatrième surface;
un second séparateur de faisceau (217) monté sur le chemin du faisceau situé entre le premier séparateur de faisceau (223) et le premier détecteur (241), pour séparer le faisceau entre une première partie dirigée vers le premier détecteur et une seconde partie dirigée vers une plaque en demi-onde (245), et en retour dans le premier séparateur de faisceau (223) à travers la première surface;
la première composante du faisceau est polarisée initialement de façon qu'elle soit réfléchie par la surface polarisante de séparation de faisceau, et la seconde composante du faisceau est polarisée initialement de façon qu'elle soit transmise par la surface polarisante de séparation de faisceau; et
le faisceau passe dans le premier séparateur de faisceau (223) qui sépare la première composante du faisceau de la seconde composante du faisceau, la première composante traversant en séquence le premier séparateur de faisceau (223), le premier coin de cube (227), une fois le premier séparateur de faisceau, et allant vers le détecteur (241); la seconde composante traversant en séquence le premier séparateur de faisceau (223), la plaque en quart d'onde transparente (225), allant vers le moyen réflecteur (221), traversant la plaque en quart d'nde transparente, le premier séparateur de faisceau, le troisième coin de cube (229), le premier séparateur de faisceau, la plaque en quart d'onde transparente, allant vers le moyen réflecteur, traversant la plaque en quart d'onde transparente, le premier séparateur de faisceau, et allant vers le premier détecteur (241);
le faisceau est ensuite séparé par le second séparateur de faisceau (217) en une partie du faisceau de sortie du premier passage transmise au premier détecteur (241) et une partie du faisceau de sortie du second passage dirigée vers la plaque en demi-onde (245), qui fait tourner de quatre-vingt-dix degrés le plan de polarisation de la première et de la seconde composantes du faisceau, de façon que la première composante soit transmise et que la seconde composante soit réfléchie par la surface polarisante de séparation de faisceau (224); et
la partie du faisceau de sortie du second passage traverse ensuite la première surface du premier séparateur de faisceau (223), le premier séparateur de faisceau sépare la première composante du faisceau de sortie du second passage de la seconde composante du faisceau de sortie du second passage, la seconde composante traversant en séquence le premier séparateur de faisceau (223), le deuxième coin de cube (231), une fois le premier séparateur de faisceau, et allant vers le second détecteur (243); la première composante traversant en séquence le premier séparateur de faisceau, la plaque en quart d'onde transparente (225), allant vers le moyen réflecteur (221), traversant la plaque en quart d'onde transparente, le premier séparateur de faisceau, le quatrième coin de cube (233), le premier séparateur de faisceau (223), la plaque en quart d'onde transparente, allant vers le moyen réflecteur, traversant la plaque en quart d'onde transparente, le premier séparateur de faisceau, et allant vers le

second détecteur (243).

7. Interféromètre selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que le moyen d'ensemble optique intégré comprend:

un premier séparateur de faisceau comportant une section transversale carrée, avec une première surface à travers laquelle les faisceaux lumineux pénètrent depuis le moyen de source de lumière, une deuxième surface opposée à la première surface, une troisième et une quatrième surfaces adjacentes à la première surface, et avec une première surface de séparation de faisceau à polarisation plane, diagonale à la première surface; une plaque en quart d'onde transparente (325), montée sur la deuxième surface;
une plaque en quart d'onde réflectrice (351), montée sur la troisième surface;
un premier et un deuxième coins de cube, montés sur la quatrième surface;
un second séparateur de faisceau monté sur le chemin du faisceau situé entre la source de lumière et la première surface, pour séparer le faisceau entre une première partie suivant le premier chemin et une seconde partie suivant le second chemin;
une première composante du faisceau suit un chemin de référence, et une seconde composante du faisceau suit un chemin de mesure; et le premier chemin traverse le second séparateur de faisceau, puis le premier séparateur de faisceau sépare la première composante du faisceau de la seconde composante du faisceau, la première composante traversant en séquence le premier séparateur de faisceau, la plaque en quart d'onde réflectrice, le premier séparateur de faisceau, le premier coin de cube, le premier séparateur de faisceau, la plaque en quart d'onde réflectrice, le premier séparateur de faisceau, et allant vers le premier détecteur; la seconde composante traversant en séquence le premier séparateur de faisceau, la plaque en quart d'onde transparente (325), allant vers le moyen réflecteur, traversant la plaque en quart d'onde transparente, le premier séparateur de faisceau, le premier coin de cube, le premier séparateur de faisceau, la plaque en quart d'onde transparente, allant vers le moyen réflecteur, traversant la plaque en quart d'onde transparente, le premier séparateur de faisceau, et allant vers le premier détecteur;
le second chemin est réfléchi par le second séparateur de faisceau, puis le premier séparateur de faisceau sépare la première composante du faisceau de la seconde composante du faisceau, la première composante traversant en séquence le premier séparateur de faisceau, la plaque en quart d'onde réflectrice, le premier séparateur de faisceau, le second coin de cube, le premier séparateur de faisceau, la plaque en quart d'onde réflectrice, le premier séparateur de faisceau, et allant vers le second détecteur; la seconde composante traversant en séquence le premier séparateur de faisceau, la plaque en quart d'onde transparente (325), allant vers le moyen réflecteur, traversant la plaque en quart d'onde transparente, le premier séparateur de faisceau, le second coin de cube, le premier séparateur de faisceau, la plaque en quart d'onde transparente, allant vers le moyen réflecteur, traversant la plaque en quart d'onde transparente (325), le premier séparateur de faisceau, et allant vers le second détecteur.

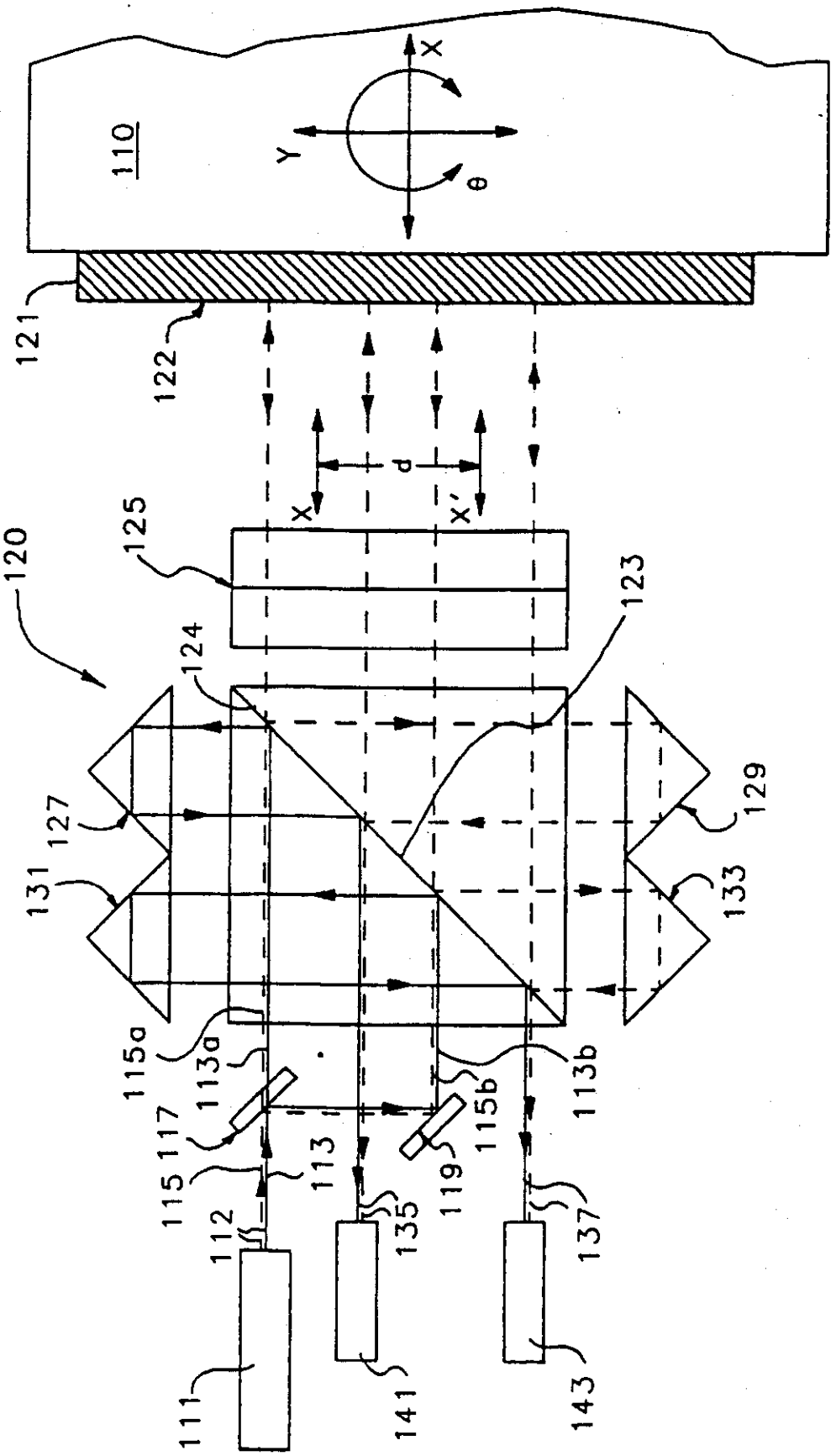

110
X
Y
θ
121
122
d
X
X'
125
120
123
124
127
129
131
133
115a
113a
113b
115b
117
115
113
119
112
135
137
111
141
143

FIG_ 1

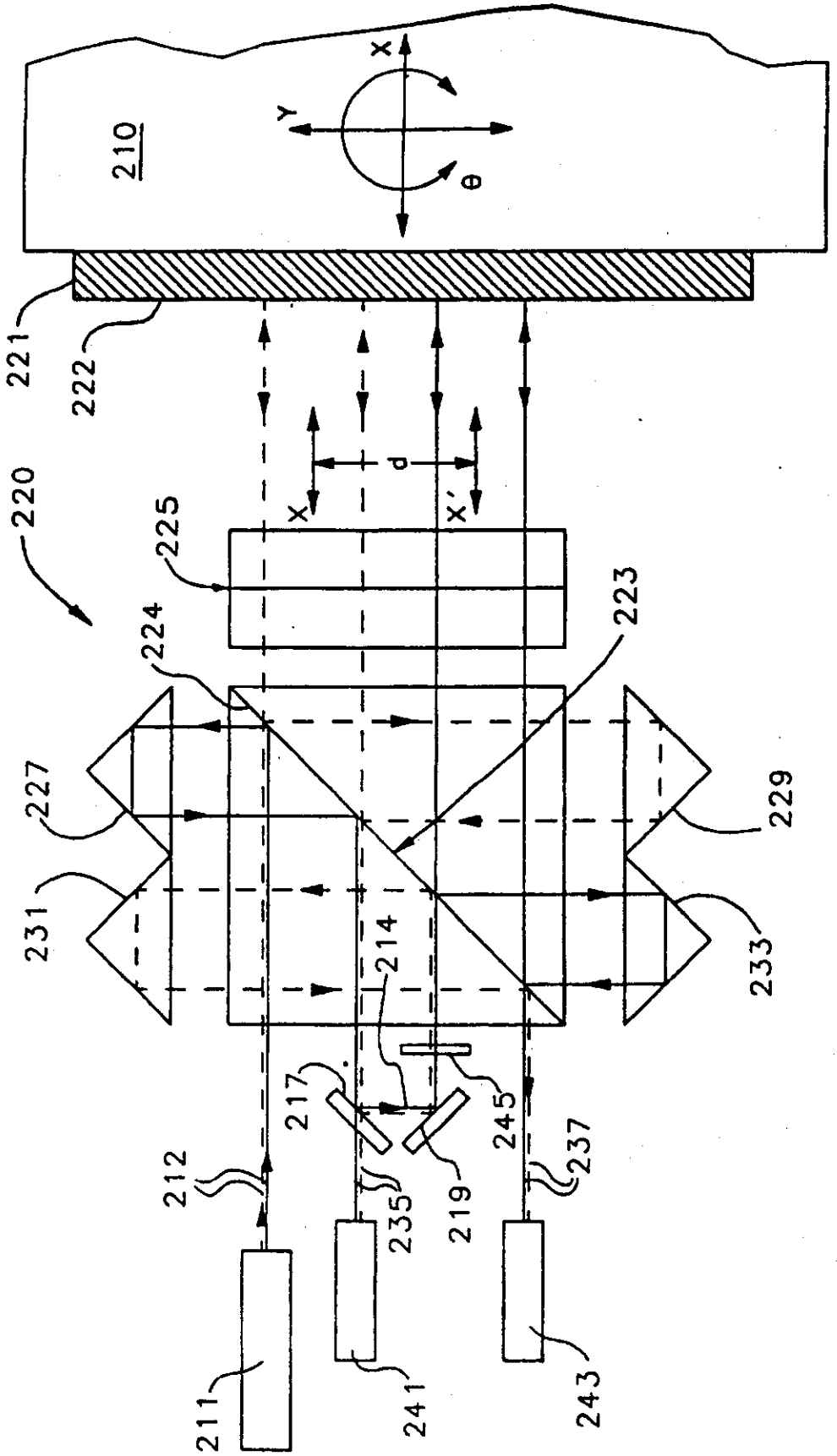

210
X
Y
θ
221
222
220
225
224
223
227
229
231
233
214
217
245
237
212
235
219
211
241
243
X
X'
d

FIG_ 2

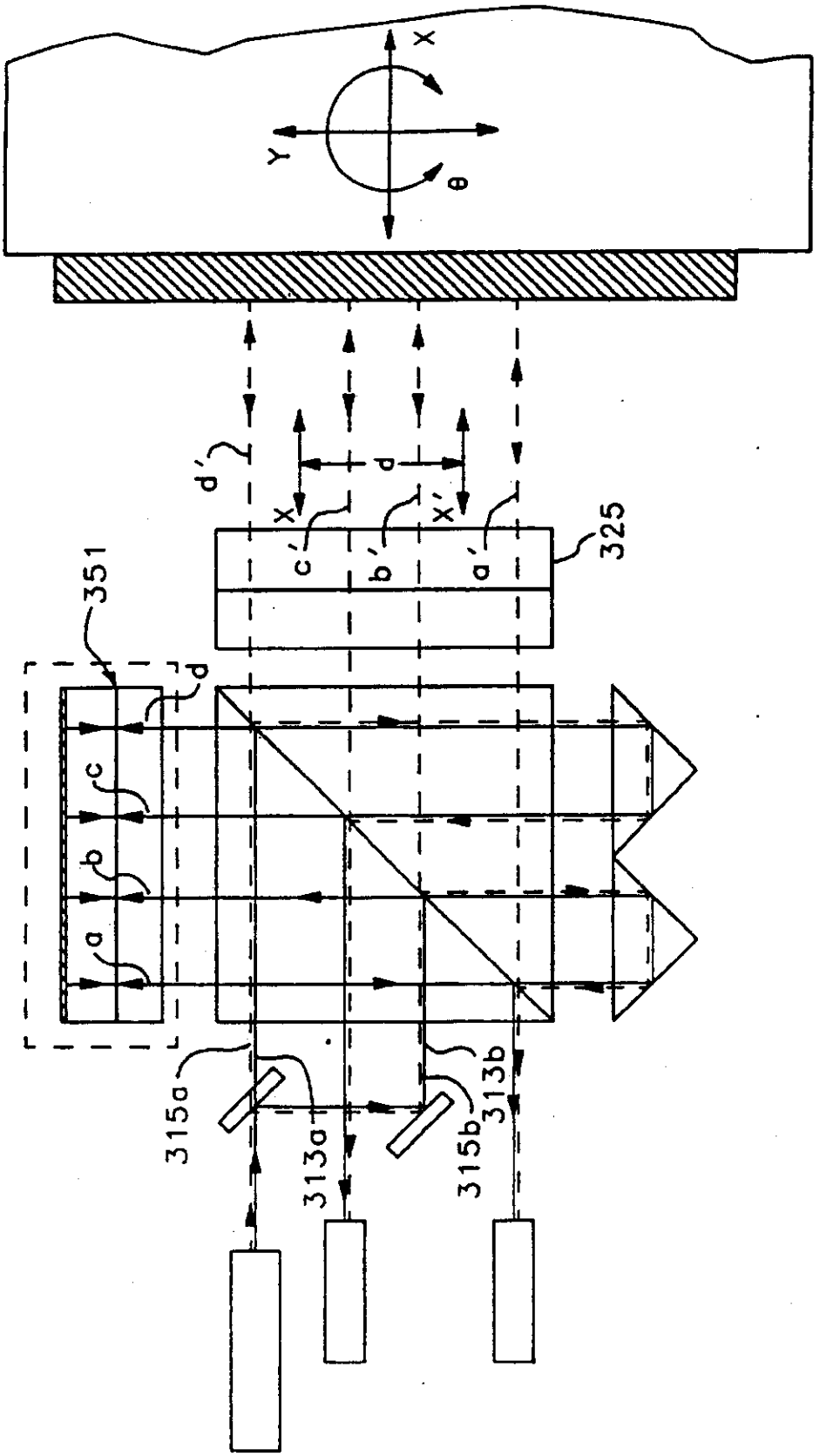


FIG_ 3

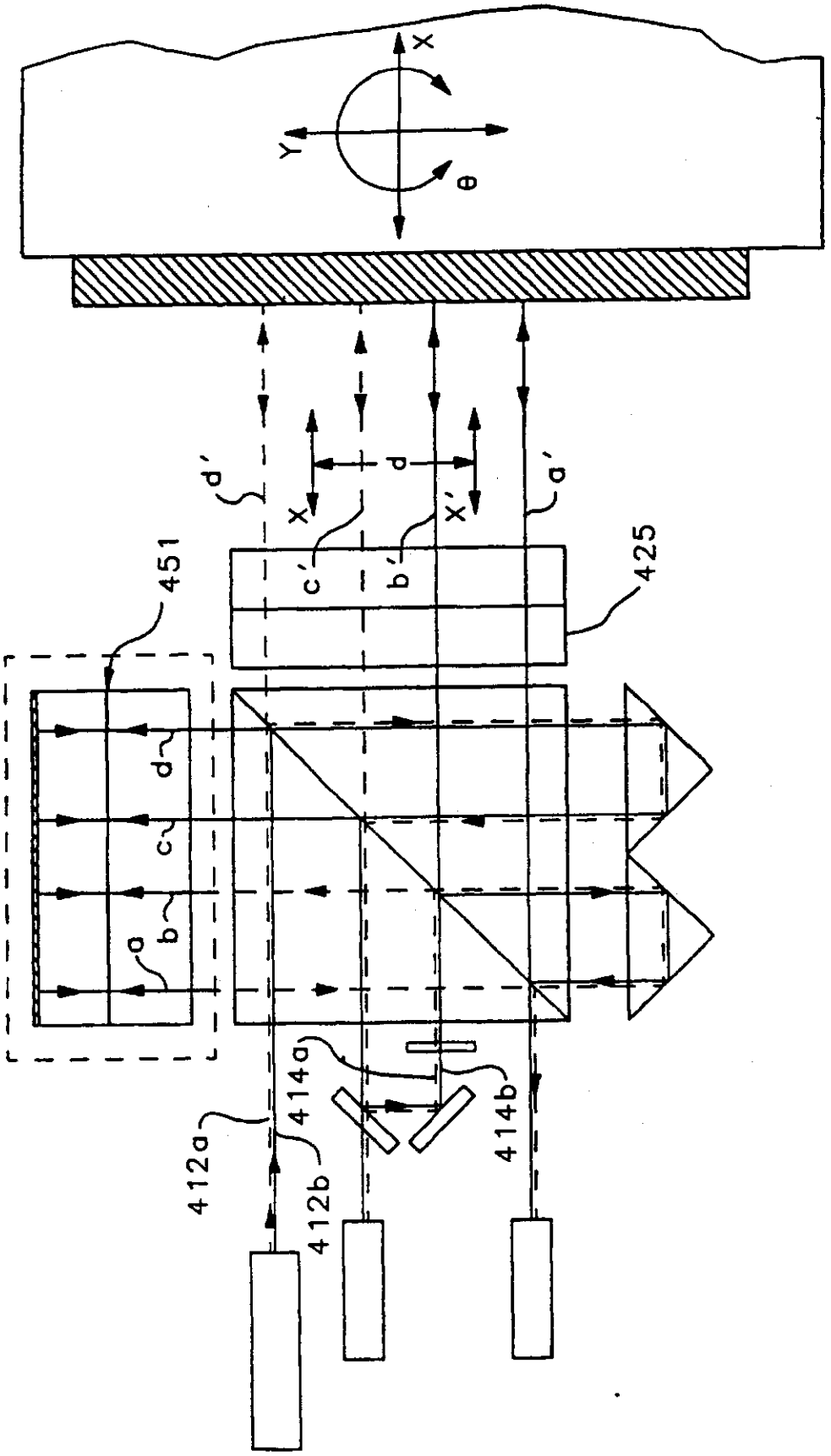


FIG_ 4

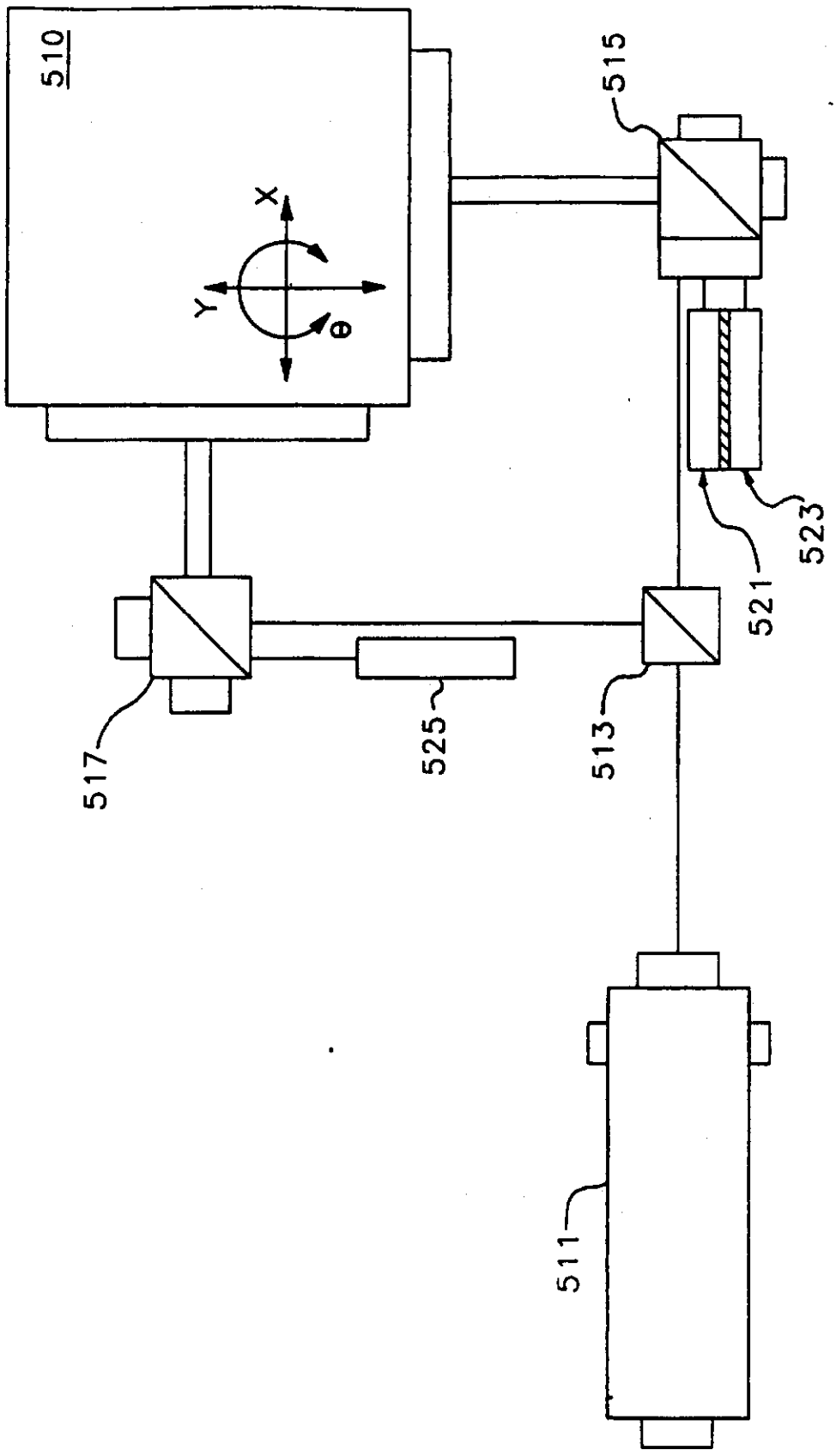


FIG_ 5

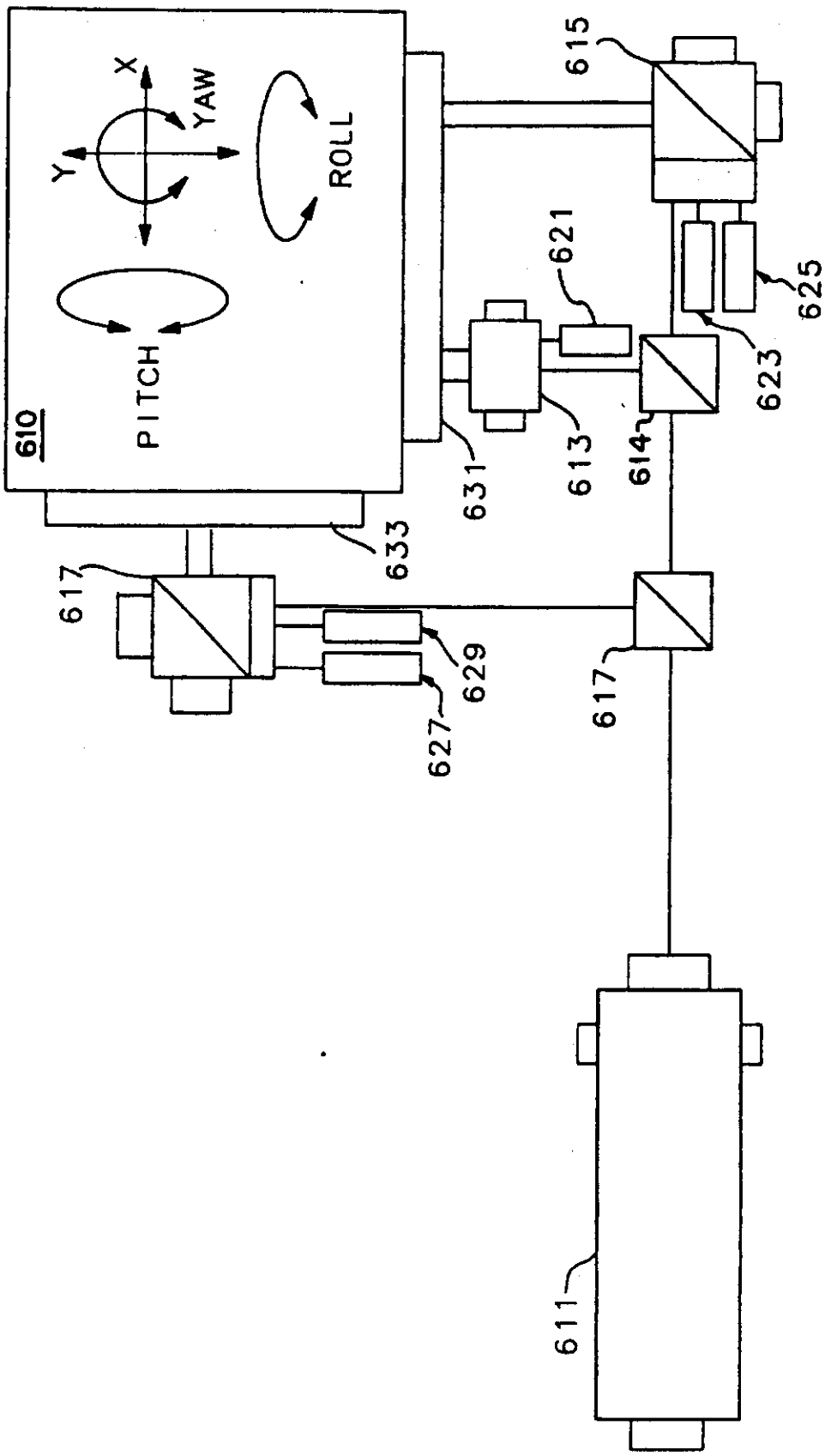

610
X
Y
YAW
ROLL
PITCH
615
621
625
623
631
613
614
633
617
629
627
617
611

FIG_ 6

REGISTER ENTRY FOR EP0388594

European Application No EP90101409.2 filing date 24.01.1990

Priority claimed:
23.02.1989 in United States of America - doc: 314348

Designated States DE FR GB

Title LINEAR-AND-ANGULAR MEASURING PLANE MIRROR INTERFEROMETER.

Applicant/Proprietor
HEWLETT-PACKARD COMPANY, 3000 Hanover Street, Palo Alto California 94304, United States of America [ADP No. 50014570002]

Inventor
JOHN J. BOCKMAN, 2949 Marietta Drive, Santa Clara, Ca. 95051, United States of America [ADP No. 57823619001]

Classified to
G2J
G01B

Address for Service
HEWLETT-PACKARD LIMITED, Building 2, Filton Road, Stoke Gifford, BRISTOL, BS12 6QZ, United Kingdom [ADP No. 00001933005]

EPO Representative
ROLAND LIESEGANG DR.-ING., FORRESTER & BOEHMERT Widenmayerstrasse 4 Postfach 22 01 37, D-8000 München 22, Federal Republic of Germany [ADP No. 50272772001]

Publication No EP0388594 dated 26.09.1990
Publication in English

Examination requested 12.06.1991

Patent Granted with effect from 17.01.1996 (Section 25(1)) with title
LINEAR-AND-ANGULAR MEASURING PLANE MIRROR INTERFEROMETER

07.01.1991 EPO: Search report published on 06.02.1991
Entry Type 25.11 Staff ID. RD06 Auth ID. EPT

15.12.1995 Notification from EPO of change of Applicant/Proprietor details
from
HEWLETT-PACKARD COMPANY, 3000 Hanover Street, Palo Alto California 94304, United States of America [ADP No. 50014570002]
to
HEWLETT-PACKARD COMPANY, Mail Stop 20 B-O, 3000 Hanover Street, Palo Alto, California 94304, United States of America See (3). [ADP No. 50014570001]
Entry Type 25.14 Staff ID. RD06 Auth ID. EPT

15.12.1995 Notification from EPO of change of EPO Representative details from
ROLAND LIESEGANG DR.-ING., FORRESTER & BOEHMERT Widenmayerstrasse 4
Postfach 22 01 37, D-8000 München 22, Federal Republic of Germany
[ADP No. 50272772001]

to
ROLAND LIESEGANG DR.-ING., FORRESTER & BOEHMERT
Franz-Joseph-Strasse 38, D-80801 München, Federal Republic of
Germany [ADP No. 50272772001]

Entry Type 25.14 Staff ID. RD06 Auth ID. EPT

**** END OF REGISTER ENTRY ****

RENEWAL DETAILS

PUBLICATION NUMBER EP0388594

PROPRIETOR(S)

Hewlett-Packard Company, Mail Stop 20 B-O, 3000 Hanover Street, Palo Alto, California 94304, United States of America See (3)

DATE FILED 24.01.1990

DATE GRANTED 17.01.1996

DATE NEXT RENEWAL DUE 24.01.1997

DATE NOT IN FORCE

DATE OF LAST RENEWAL 29.01.1996

YEAR OF LAST RENEWAL 07

STATUS PATENT IN FORCE

**** END OF REPORT ****